

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский  
государственный университет»  
Буник С.П.



2015 года

### Отзыв

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» о диссертации **КАЛАСА Вячеслава Олеговича «ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОВЕСИЯ И НЕКОТОРЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОБОБЩЕННОЙ ЗАДАЧЕ СИТНИКОВА»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Начало 21 века ознаменовалось сразу несколькими научными проектами, использующими космические аппараты, функционирующие в окрестности коллинеарной точки либрации  $L_2$  для системы Солнце-Земля. Первым был проект WMAP (2001 – 2010), реализованный NASA для изучения реликтового излучения, образовавшегося в результате большого взрыва. Затем исследования, начатые в проекте WMAP, были продолжены с помощью астрономического спутника Planck (2009 – 2013) и космического телескопа Herschel Space Observatory (2009 – 2013). Оба космических аппарата являются разработкой Европейского космического агентства (ESA) и были доставлены с помощью одной ракеты-носителя в окрестность точки либрации  $L_2$  для системы Солнце-Земля.

В настоящее время готовится новый крупный международный проект James Webb Space Telescope с участием специалистов из 17 стран во главе с NASA и ESA. Этот проект предполагает запуск космического телескопа и размещение его в коллинеарной точке либрации  $L_2$  для системы Солнце-Земля в 2018 г.

Все упомянутые проекты предполагают исследование колебаний космического аппарата (КА) в окрестности коллинеарной точки либрации в задаче трех тел. Данная диссертационная работа также посвящена изучению колебаний КА в задаче трех тел. В связи с вышеизложенным, не вызывает сомнения актуальность и своевременность появления данной диссертационной работы.

Среди многообразия движений в задаче трех тел внимание уделяется таким движениям, которые не имеют предела при стремлении времени к бесконечности. Существование таких решений для частного случая задачи трех тел доказано К.А. Ситниковым. В данной диссертации рассматривается случай задачи трех тел, исследованный К.А. Ситниковым, а также более общий вариант постановки задачи, предполагающий учет не только сил гравитационного притяжения, действующих на материальную точку со стороны двух основных тел системы, но и сил светового давления со стороны основных тел. Сформулированная таким образом фотогравитационная задача Ситникова (или обобщенная задача Ситникова) может рассматриваться как модель для анализа устойчивости и колебаний частиц пылевых облаков в системах двойных звезд.

Классический вариант задачи Ситникова автор данной диссертации рассматривает как в линейной, так и в нелинейной постановках. В линейном приближении диссертант проанализировал устойчивость положения равновесия материальной точки на базе дифференциального уравнения второго порядка с периодическим по времени коэффициентом (уравнение типа уравнения Хилла). Устойчивость равновесия исследована на основе регуляризации уравнения в окрестности особой точки и последующего вычисления следа матрицы монодромии. Показано, что равновесие материальной точки устойчиво при почти всех значениях эксцентриситета орбиты притягивающего тела из интервала  $[0,1)$ . Обнаружена неустойчивость равновесия материальной точки на дискретном множестве значений эксцентриситета  $e$ , для которых мультипликаторы являются кратными с непростыми элементарными делителями. При этом  $e=1$  является точкой сгущения найденного множества.

Для исследования задачи в нелинейной постановке диссертант использует гамильтонову форму уравнений и строит, с точностью до членов третьего порядка малости включительно, отображение фазового пространства на себя в момент времени  $t=2\pi$ . Далее, на основе метода точечных отображений сделаны выводы об устойчивости равновесия материальной точки в задаче Ситникова. Показано, что всюду в области значений эксцентриситета  $e$  из интервала  $[0,1)$  имеет место устойчивость по Ляпунову, за исключением дискретной последовательности значений  $\{e_j\}$ , для которых след матрицы монодромии равен 2 или -2. Исследованы первое и второе значения эксцентриситета из указанной последовательности. Показано, что для первого значения  $e=e_1$  равновесие материальной точки устойчиво, а второе значение эксцентриситета  $e=e_2$  соответствует вырождению теорем об устойчивости и поэтому требует привлечения нелинейных членов порядка выше третьего.

Исследование фотогравитационной задачи Ситникова диссертант начинает с анализа влияния коэффициента редукции  $q$  ( $0 < q < 1$ ) на след матрицы монодромии как функции эксцентриситета  $e$ . Аналитическими и численными методами исследовано поведение указанной функции на трех интервалах изменения коэффициента редукции  $q$ :  $[0.1, 0.16]$ ,  $(0.16, 0.3)$ ,  $[0.3, 1]$  и сделаны выводы об устойчивости равновесия материальной точки в первом приближении. В частности, показано, что при малых значениях  $q$  имеет место неустойчивость равновесия материальной точки как в линейном приближении, так и в строгой нелинейной постановке при определенных значениях эксцентриситета  $e$ . Сделаны выводы о существовании областей эксцентриситета, отвечающих зонам устойчивости в линейном и нелинейном приближениях.

Далее диссертант рассматривает задачу о движении пассивно гравитирующей точки в поле притяжения двух одинаковых массивных тел, излучающих световую энергию. В окрестности устойчивого положения равновесия материальной точки исследованы одномерные колебания точки вдоль оси, перпендикулярной плоскости орбиты главных тел и проходящей через центр масс системы. Получены уравнения

колебаний с точностью до членов четвертого порядка малости по отклонениям. Получены условия существования параметрического резонанса. Методом усреднения исследованы резонансные колебания точки как при строгом резонансе, так и в окрестности резонанса: выведены усредненные уравнения, показано, что они допускают первый интеграл, построен фазовый портрет колебаний в окрестности резонанса и при строгом резонансе. Таким образом, в диссертационной работе В.О. Каласа выполнен качественный анализ устойчивости положения равновесия материальной точки в обобщенной задаче Ситникова.

Упомянутые результаты, полученные В.О. Каласом, являются новыми и представляют теоретический и практический интерес.

Все утверждения диссертации строго обоснованы, каких-либо пробелов в доказательствах не обнаружено. Тема диссертации соответствует специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы, докладывались на конференциях и семинарах и правильно отражены в автореферате.

Диссертация написана достаточно аккуратно. В качестве недостатков можно отметить, например, следующее:

1. Вводная часть диссертации, содержащая распределение материала по главам, написана с использованием специальных терминов и обозначений, смысл которых поясняется в последующих главах диссертации и поэтому может быть понятна лишь читателям, уже ознакомившимся с основным содержанием диссертации. Вместе с тем, фраза «Результаты исследований дублируются в разных системах координат», приведенная на с.7, остается непонятной даже после прочтения диссертации.

2. В первой главе имеется ряд недочетов, связанных с отсутствием пояснений вводимых параметров и переменных. Например, на с.9 не поясняется, для какой орбиты введена большая полуось  $a$  и для какого объекта введена эксцентрическая аномалия  $E$ . Крайне неудачной выглядит и попытка присвоить единичное значение фундаментальной физической постоянной – гравитационной постоянной Ньютона  $f$  на с.9 и на с.56. Переход к безразмерным переменным  $z_1 = z/a$ ,  $t_1 = nt$ , где  $n^2 = \mu/a^3$ , а также введение безразмерной величины  $r_1 = r/a$ , позволяет сразу получить безразмерное уравнение (1.2) без введения необоснованных предположений вроде  $m_1 + m_2 = 1$  и других подобных ему.

3. При выводе уравнения (1.4) производится разложение в ряд по степеням переменной  $z$  без каких-либо пояснений относительно величины  $z$ . В этом месте недостает обоснования производимых упрощений и явного указания на цель таких упрощений, потому что в задаче Ситникова переменная  $z$ , вообще говоря, не предполагается малой.

4. Смысл кривых, показанных на рисунках 1.2 и 1.3, не пояснен в тексте, а надписи на осях не читаются, поскольку слишком мелкие.

5. Непонятно, почему автор диссертации строит границу области устойчивости в области параметров  $24e$ ,  $\omega^2$ , меняя  $\omega^2$  от 4 до 9 (с.18), а не от 8 до 20, что соответствовало бы возможным пределам изменения  $\omega^2$ .

6. На рис. 1.4, 1.5 и 1.6 отсутствуют надписи на осях или подписи, поясняющие смысл откладываемых по осям величин. Сами кривые, изображенные на этих рисунках, показаны в неудачном масштабе и с низким качеством.

7. В уравнении (1.29) на с.21 пропущена переменная  $z$ .

8. На с. 21 не обоснована корректность удержания первых сорока членов степенного ряда (1.3) в условиях приближенной модели (1.26), полученной путем линеаризации по переменной  $z$ .

9. Ввиду низкого качества рисунка 1.6 остается непонятным, сколько на нем изображено графиков и какой из них считать верхним, а какой – нижним.

10. На с.24 неясно, какой именно интервал назван «продолжительным интервалом изменения фиктивного времени».

Кроме того, было бы желательно представить в диссертации графики изменения функции  $r(t)$  при разных значениях  $e$ .

Наконец отметим, что диссертация выглядела бы более выигрышно, если бы содержала некоторые характерные графики, иллюстрирующие поведение функции  $z(t)$  в случаях устойчивости и неустойчивости.

Отмеченные недостатки не влияют на общее положительное впечатление о диссертационной работе. Диссертация представляет собой законченное научное исследование актуальной проблемы теоретической механики и космодинамики, в которой получены новые и важные результаты. Достоверность и строгая обоснованность полученных результатов не вызывают сомнений, а их использование представляется полезным для дальнейших теоретических исследований динамики космических систем, а также при разработке различных космических проектов, связанных с использованием лагранжевых точек либрации в задаче трех тел.

Результаты диссертации могут быть использованы в научных исследованиях, проводимых в МГУ им. М.В.Ломоносова, СПбГУ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ВЦ РАН им. А.А. Дородницына, ИПМех РАН и в других организациях.

По теме диссертации опубликованы 4 статьи, в том числе 3 статьи в научных журналах, входящих в список ВАК. Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Полученные результаты достаточно полно апробированы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация носит законченный характер, выполнена на высоком научном уровне, удовлетворяет требованиям пп. 9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Калас Вячеслав Олегович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен 12 ноября 2015 г. на заседании кафедры Теоретической и прикладной механики математико-механического факультета СПбГУ (протокол № 79.08/20-04-17 от 12.11.2015). Отзыв составил профессор кафедры теоретической и прикладной механики математико-механического факультета СПбГУ Тихонов Алексей Александрович.

Заведующий кафедрой Теоретической и прикладной механики математико-механического факультета СПбГУ, доктор физико-математических наук, профессор

П.Е. Товстик

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры Теоретической и прикладной механики математико-механического факультета СПбГУ

А.А. Тихонов

